

Matti Nissilä

Boliden Kokkola Oy:n koneturvallisuuden kehittäminen

Opinnäytetyö

Kevät 2018

SeAMK Tekniikka

Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Matti Nissilä

Työn nimi: Boliden Kokkola Oy:n koneturvallisuuden kehittäminen

Ohjaaja: Jouni Björkman

Vuosi: 2018 Sivumäärä: 31 Liitteiden lukumäärä: 3

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Boliden Kokkola Oy:n koneturvallisuutta sekä selvittää koneiden tämänhetkinen tila. Aikaisemmin tehtaan koneiden tietoja ei ole kerätty yhteiseen paikkaan. Työssä koneista ja niiden tiedoista tehtiin taulukko, josta näkee koneiden dokumentaation mahdolliset puutteet.

Tämän lisäksi työssä oli tarkoituksena kehittää työkalu, jolla määritetään koneen ohjausjärjestelmän turvallisuuden eheystaso standardin mukaisesti. Standardissa riskin suuruus esitetään määrittämällä vahingon vakavuus, vaaralle altistumisen taajuus ja kesto, tapahtuman esiintymistodennäköisyys sekä vaaran välttämisen ja rajoittamisen mahdollisuus. Työkalun tarkoituksena olisi helpottaa koneen turvallisuuden liittyvien ohjausjärjestelmän osien suunnittelua.

Opinnäytetyössä kehitettiin työkalu, jota testattiin määrittämällä koneen ohjausjärjestelmälle suoritustaso.

Asiasanat: koneturvallisuus, eheystaso, suoritustaso, ohjausjärjestelmä

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Machine Automation

Author: Matti Nissilä

Title of thesis: Improving the Machine Safety of Boliden Kokkola

Supervisor: Jouni Björkman

Year: 2018 Number of pages: 31 Number of appendices: 3

The purpose of this thesis was to improve the machine safety of Boliden Kokkola Oy and to research the current state of the machines. Previously information on the machines was not collected to one location. The information on the machines was then presented as a chart where also the possible lack of documentation can be seen.

In addition to this, another purpose of this thesis was to develop a tool for defining the safety integrity level of the machine control systems in accordance with the standard. In the standard, the severity of a risk is presented by defining the severity of harm, frequency and duration of exposure, probability of the occurrence of a hazardous event and the possibilities to avoid or limit the harm.

In the thesis a tool was developed which was tested by defining the performance level of a machine control system. The purpose of this tool is to make it easier to design control systems related to machine safety.

Keywords: machine safety, integrity level, performance level, control system

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	4
1 JOHDANTO.....	6
1.1 Työn tausta	6
1.2 Työn tavoite.....	6
1.3 Työn rakenne	6
1.4 Yritysesittely	7
2 KONETURVALLISUUS.....	8
2.1 Konedirektiivi.....	8
2.2 EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus	9
2.3 Standardi SFS-EN IEC 62061 ja turvallisuuden eheystaso.....	9
2.3.1 Vahingon vakavuus.....	11
2.3.2 Vaaralle altistumisen taajuus ja kesto	11
2.3.3 Tapahtuman esiintymistodennäköisyys.....	12
2.3.4 Mahdollisuus välttää tai rajoittaa vaaraa	13
2.4 Standardi SFS-EN ISO 13849-1 ja suoritustaso	13
2.4.1 Luokat B, 1, 2, 3, 4 ja niiden rakenteet.....	14
2.4.2 Suoritustason määrittäminen riskigraafilla.....	17
2.5 Turvallisuuden eheystason ja suoritustason vastaavuus	18
2.6 Ohjelmistotyökalu Sistema	18
3 KONETURVALLISUUDEN KEHITTÄMINEN	20
3.1 Taulukon suunnittelu	20
3.2 Työkalu turvallisuuden eheystason määrittämiseen.....	23
3.3 Koneen suoritustason määrittäminen.....	25
4 TULOKSET JA POHDINTA	29
LÄHTEET.....	30
LIITTEET	31

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. CE-merkintä ja mittasuhteet.....	9
Kuva 2. Sisteman aloitussivu	19
Kuva 3. Taulukko elektrolyysin koneista	22
Kuva 4. Taulukko puhdistamon koneista	23
Kuva 5. Turvallisuuden eheystason määrittäminen Excelin avulla.....	24
Kuva 6. Sovellus SIL-tason määrittämiseen.....	25
Kuva 7. Valukarusellin turvalaitteiden sijoitus	26
Kuva 8. Sovelluksesta saadut tulokset.....	27
Kuva 9. Projektin rakenne Sistemassa	28
Kuvio 1. Luokkien B ja 1 rakenne.....	15
Kuvio 2. Luokan 2 rakenne	15
Kuvio 3. Luokan 3 rakenne	16
Kuvio 4. Luokan 4 rakenne	16
Kuvio 5. Standardin ISO 13849-1 mukainen riskigraafi.....	17
Taulukko 1. Turvallisuuden eheystason matriisi.....	10
Taulukko 2. Vakavuuden luokitus	11
Taulukko 3. Altistumisen taajuuden ja keston luokitus	12
Taulukko 4. Todennäköisyyden luokitus	12

Taulukko 5. Vaaran välttämisen ja rajoittamisen mahdollisuuden luokitus.....	13
Taulukko 6. Turvallisuuden eheystason ja suoritustason vastaavuus.....	18
Taulukko 7. Värikoodaus, jos kone on valmistettu ennen vuotta 1995.....	21
Taulukko 8. Värikoodaus, jos kone on valmistettu vuonna 1995 tai sen jälkeen...	21

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Sinkkitehtaalla on paljon koneita, eikä tällä hetkellä käytössä ole yhteistä järjestelmää, josta näkee näiden koneiden tarvittavat tiedot ja dokumenttien tallennuspaikat helposti.

Tämän lisäksi tehtaalla nykyisin käytetty työkalu koneen riskien arvioimiseen ei anna koneelle turvallisuuden eheystasoa tai suoritustasoa. Tämä vaikeuttaa uuden koneen ohjausjärjestelmän suunnittelua. Lisäksi se vaikeuttaa myös vanhaa konetta turvallistettaessa sen ohjausjärjestelmän suunnittelua.

1.2 Työn tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Boliden Kokkola Oy:n sinkkitehtaan konekannan tämänhetkinen tila. Työssä ei oteta kantaa laitteiden turvallisuuteen, vaan käydään läpi, löytyykö koneista vaadittavat dokumentit ja onko koneesta tehty riskien arviointi. Koneet listataan osastoittain ja merkitään löytyneet dokumentit ja niiden nimi tai sijainti.

Tavoitteena on myös kehittää työkalu, jolla voidaan määrittää koneen turvallisuuden eheystaso standardin IEC 62061 mukaan. Tavoitteena on pystyä työkalulla määrittämään esimerkkikoneesta turvallisuuden eheystaso tai suoritustaso. Ohjelmistotyökalu Sistemalla voidaan todentaa, että vaadittu turvallisuuden eheystaso tai suoritustaso koneen ohjausjärjestelmässä täyttyy.

1.3 Työn rakenne

Toisessa luvussa kerrotaan teoriaa koneturvallisuudesta ja työhön liittyvistä standardeista ja työkaluista. Kolmannessa luvussa kerrotaan työstä ja sen etenemisestä valmiiksi tuotokseksi. Neljännessä luvussa kerrotaan tuloksista ja lisäksi pohditaan tehtyä työtä ja sovellusta.

1.4 Yritysesittely

Boliden Kokkola on Kokkolassa sijaitseva sinkkitehdas. Sinkin tuotanto alkoi vuonna 1969, jolloin tehtaan omisti Outokumpu. Tehdas siirtyi Bolidenin omistukseen vuonna 2004 yritysjärjestelyn seurauksena. Boliden valmistaa puhdasta sinkkiä ja siitä valmistettuja erilaisia seostuotteita, kuten sinkki-nikkeliseosta. Valikoimaan kuuluu noin 40 erilaista sinkkituotetta. Rikaste, jota tehdas käyttää raaka-aineena sinkin valmistukseen, tulee suurimmilta osin Bolidenin omilta kaivoksilta Ruotsista, Suomesta ja Irlannista, mutta rikasteita ostetaan myös muilta kaivosyrityksiltä eri puolilta maailmaa. Boliden Kokkola työllistää noin 550 henkilöä, ja vuonna 2016 tehdas tuotti sinkkiä noin 290 tonnia. Tämä tekee tehtaasta Euroopan toiseksi suurimman sinkkitehtaan. Vuodesta 2010 lähtien Boliden Kokkola on tuottanut myös rikkihappoa ostettuaan vieressä olevan rikkihappotehtaan Kemiralta. (Boliden [Viitattu 20.3.2018].)

2 KONETURVALLISUUS

2.1 Konedirektiivi

EU:n konedirektiivi 2006/42/EY on säädös koneiden turvallisuuteen ja terveyteen liittyvistä vaatimuksista Euroopan alueella. Konedirektiiviä sovelletaan koneisiin, vaihdettaviin laitteisiin, turvakomponentteihin, nostoapuvälineisiin, ketjuihin, köysiin, vöihin, nivelakseleihin ja puolivalmisteisiin. Direktiivi on ollut käytössä 29. päivä joulukuuta 2009 lähtien ja se on uudelleen laadittu konedirektiivistä 98/37/EY. (Euroopan komissio 2010, 16.) Konedirektiivin tavoitteena on taata koneiden liikkuvuus Euroopan sisämarkkinoilla, sekä ylläpitää korkeaa tasoa turvallisuuden ja terveyden suojelussa (Euroopan komissio 2010, 14).

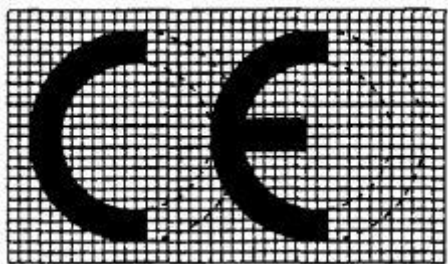
Direktiivin mukaan jokaisessa koneessa on oltava vähintään seuraavat tiedot koneesta:

- koneen kuvaus,
- valmistusvuosi,
- valmistajan tai tämän edustajan toiminimi ja osoite,
- CE-merkintä,
- sarja- tai tyyppimerkintä ja sarjanumero jos mahdollista. (Direktiivi 2006/42/EY, 2006, 47.)

Merkinnät on merkittävä koneeseen selvästi ja pysyvästi (Direktiivi 2006/42/EY, 2006, 47).

CE-merkinnällä koneen valmistaja takaa, että kone on direktiivin vaatimusten mukainen. Nimitys CE tulee ranskalaisesta nimestä Conformité Européenne. CE-merkintä ei suoraan takaa sitä, että tuote on turvallinen kuluttajalle. Se on tarkoitettu pääasiassa viranomaisia varten, ja sen avulla tuotteella on vapaa liikkumisoikeus Euroopan sisämarkkinoilla. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto [Viitattu 21.3.2018].)

CE-merkinnän on oltava konedirektiivin liitteen 3 (kuva 1) mukainen, merkin kokoa muutettaessa on sen mittasuhteiden pysyttävä samana (Direktiivi 2006/42/EY, 2006, 67).



Kuva 1. CE-merkintä ja mittasuhteet
(Direktiivi 2006/42/EY, 2006, 67)

2.2 EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus

EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus on konedirektiivin 2006/42/EY liitteen 2A mukainen koneen valmistajan laatima ja allekirjoittama todistus siitä, että kone täyttää konedirektiivin 2006/42/EY vaatimukset. (Direktiivi 2006/42/EY, 2006, 65.)

EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa on oltava vähintään tiedot, joista selviää

- koneen valmistajan toiminimi ja osoite,
- teknisen eritelmän kokoamiseen valtuutetun henkilön nimi ja osoite,
- koneen kuvaus,
- koneen yksilöivä tunniste,
- vakuutuksen aika ja paikka,
- allekirjoitus ja nimen selvennys henkilöltä, joka on valtuutettu laatimaan vaatimustenmukaisuusvakuutus valmistajan puolesta. (Direktiivi 2006/42/EY, 2006, 65.)

Lisäksi vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa on oltava vakuutus siitä, että kone täyttää konedirektiivin vaatimat säännökset sekä muiden mahdollisten direktiivien ja standardien asettamat säännökset (Direktiivi 2006/42/EY, 2006, 65).

2.3 Standardi SFS-EN IEC 62061 ja turvallisuuden eheystaso

Standardi IEC 62061 soveltaa standardia IEC 61508. Standardissa käsitellään turvallisuuteen liittyvien sähköisten, elektronisten ja ohjelmoitavien ohjausjärjestelmien toiminnallista turvallisuutta. Toiminnallisella turvallisuudella tarkoitetaan sitä, että

kone toimii turvallisuusvaatimusten mukaisesti ja ei-toivotuilta toiminnoilta voidaan välttyä. Standardi SFS-EN 62061 on erityisesti komponenttivalmistajien ja tyyppi-tarkastuksia tekevien laitosten käyttämä standardi. Standardissa turvallisuuden eheystasoja (SIL, Safety Integrity Level) kuvataan kolmella eri tasolla SIL 1, SIL 2 ja SIL 3. (Siirilä 2009, 43.)

Standardissa riskin suuruus arvioidaan määrittämällä vaaran riskitekijät, jotka ovat vahingon vakavuus (Se, Severity) ja vahingon esiintymistodennäköisyys. Esiintymistodennäköisyys riippuu kolmesta muuttujasta, jotka ovat vaaralle altistumisen taajuus ja kesto (Fr, Frequency), tapahtuman esiintymistodennäköisyys (Pr, Probability) ja mahdollisuus välttää tai rajoittaa vahinkoa (Av, Avoidance). (SFS-EN 62061, 2005, 136, 138.)

Määrittämällä esiintymistodennäköisyyden muuttujat voidaan laskea luokka (Cl, Class) kaavalla $Cl = Fr + Pr + Av$. Luokalla osoitetaan vahingon esiintymistodennäköisyyttä. Taulukon 1 avulla voidaan määrittää turvallisuuden eheystaso, jos vaaran riskitekijät on laskettu. Taulukosta näkee, että mitä vakavampi riski ja korkeampi esiintymistodennäköisyys, sitä korkeampi turvallisuuden eheystason pitää olla. (SFS-EN 62061, 2005, 144.)

Taulukko 1. Turvallisuuden eheystason matriisi
(SFS-EN 62061, 2005, 144)

Vakavuus (Se)	Luokka (Cl)				
	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
3			SIL 1	SIL 2	SIL 3
2				SIL 1	SIL 2
1					SIL 1

2.3.1 Vahingon vakavuus

Taulukko 2. Vakavuuden luokitus
(SFS-EN 62061, 2005, 138)

Seuraukset	Vakavuus (Se)
Palautumaton, kuolema, näön tai käden menetys	4
Palautumaton, sormen menetys, murtunut raaja	3
Palautuva, sairaanhoito	2
Palautuva, ensihoito	1

Taulukosta 2 huomaa, että vahingon vakavuus on jaettu neljään eri luokkaan 1–4. Luokalla 1 tarkoitetaan vähäisiä vammoja, kuten naarmut ja vähäiset ruhjeet, joissa hoitona riittää ensiapu. Luokka 2 tarkoittaa vakavia ruhjeita ja vakavia viilto- ja pistohaavoja, jotka ovat palautuvia vammoja, ja joihin tarvitaan sairaanhoitoa. Luokalla 3 tarkoitetaan suuria tai palautumattomia vammoja, kuten raajojen murtumat tai sormen menetys. Neljäs ja vakavin luokka tarkoittaa kuolemantapausta tai palautumattomaa vammaa, jonka parantumisen jälkeen on hyvin vaikeaa jatkaa samaa työtä tai palata työelämään ollenkaan. (SFS-EN 62061, 2005, 138.)

2.3.2 Vaaralle altistumisen taajuus ja kesto

Altistumistason määrittämisessä otetaan huomioon vaaravyöhykkeelle pääsyn tarve muun muassa koneen normaalin käytön ja kunnossapidon yhteydessä. Pääsyn luonne, kuten materiaalin syöttö koneeseen käsin, otetaan myös huomioon. Vaaralle altistumisen keskimääräiset aikavälit olisi oltava mahdollista arvioida, jonka avulla vaara-alueelle pääsyn keskimääräinen taajuus arvioidaan. Altistumisen kesto pitäisi myös ennakoida, esimerkiksi onko kesto enemmän kuin 10 minuuttia. Taulukon 3 avulla määritetään pisteet altistumisen taajuudelle. Jos kesto on alle 10 minuuttia, piste voidaan alentaa alemmalle tasolle. Tämä pisteen vähentäminen ei päde vakavimmassa luokassa, jossa altistumisen taajuus on enintään kerran tunnissa. (SFS-EN 62061, 2005, 140.)

Taulukko 3. Altistumisen taajuuden ja keston luokitus
(SFS-EN 62061, 2005, 140)

Altistumisen taajuus	Kesto > 10 minuuttia
≤ 1 tunti	5
> 1 tunti ... ≤ 1 päivä	5
> 1 päivä ... ≤ 2 viikkoa	4
> 2 viikkoa ... ≤ 1 vuosi	3
> 1 vuosi	2

2.3.3 Tapahtuman esiintymistodennäköisyys

Vaarallisen tapahtuman esiintymistodennäköisyyttä arvioidessa on otettava huomioon ihmisen ja koneen toiminta. Ihmisen puutteellinen tiedostaminen koneen vaaroista sekä stressi ovat asioita, jotka pitäisi ottaa huomioon määritettäessä vahingon esiintymistodennäköisyyttä. Koneen osalta pitää huomioida vaaraan liittyvien osien toiminta normaalikäytössä, kunnossapidon ja vian etsinnän aikana. Tässä on erityisen tärkeää tarkastella ohjausjärjestelmää odottamattoman käynnistymisen riskin osalta. (SFS-EN 62061, 2005, 140, 142.)

Taulukko 4. Todennäköisyyden luokitus
(SFS-EN 62061, 2005, 142)

Tapahtuman todennäköisyys	Todennäköisyys (Pr)
Erittäin todennäköinen	5
Todennäköinen	4
Mahdollinen	3
Harvoin	2
Ei oteta huomioon	1

Taulukon 4 avulla valitaan sopivat pisteet 1–5 vaaran esiintymistodennäköisyydelle (SFS-EN 62061, 2005, 142).

2.3.4 Mahdollisuus välttää tai rajoittaa vaaraa

Taulukko 5. Vaaran välttämisen ja rajoittamisen mahdollisuuden luokitus (SFS-EN 62061, 2005, 144)

Mahdollisuus välttää tai rajoittaa	Vältettävyyys
Mahdoton	5
Mahdollista	3
Todennäköistä	1

Vaaran välttämisen tai rajoittamisen todennäköisyyttä arvioidessa voidaan ottaa kantaa seuraaviin asioihin:

- vaarallisen tapahtuman ilmaantumisen nopeus tai hitaus
- onko alueella tilaa väistää vaaraa
- osan tai järjestelmän luonne
- onko mahdollista tunnistaa vaara, esimerkiksi ympäristöolosuhteiden takia. (SFS-EN 62061, 142.)

Taulukosta 5 valitaan vaaran välttämisen ja rajoittamisen todennäköisyydelle sopiva rivi. Pisteytys on jaettu kolmeen osaan: 1, 3 ja 5 todennäköisyyden mukaan. (SFS-EN 62061, 142.)

2.4 Standardi SFS-EN ISO 13849-1 ja suoritustaso

Standardi ISO 13849-1 koskee koneiden turvalaitteiden ja -komponenttien osia riippumatta käytettävästä energiasta ja teknologiasta. Toisin kuin standardia IEC 62061, tätä standardia voidaan hyödyntää kohteissa, missä energialähde on sähköinen, pneumaattinen, hydraulinen tai muu vastaava. Standardissa esitetään turvallisuusvaatimuksia sekä ohjeita ohjausjärjestelmän osien suunnitteluun, mitkä liittyvät turvallisuuteen. (SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 8.)

Turvallisuuden arvioinnissa käytetään standardin suoritustasoa (PL, Performance Level). Suoritustasoja on yhteensä viittä eri tasoa (a, b, c, d ja e), joista a on matalin

taso, ja e on vaativin taso. Suoritustasolla tarkoitetaan turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien kykyä suorittaa turvatoiminto. Ohjausjärjestelmille, jotka liittyvät turvallisuuteen, voidaan luokitella suoritustaso sen mukaan, kuinka hyvin ne suorittavat turvatoiminnon. Suoritustaso valitaan riskin mukaan, mitä suurempi riski koneessa on, sitä korkeampi on ohjausjärjestelmän suoritustaso oltava. (Hietikko, Malm & Alanen 2009, 19.)

Jokaisen ohjausjärjestelmän osan, joka liittyy turvallisuuteen, on oltava luokitettu. Standardissa on esitetty 5 eri luokkaa, B-luokka ja luokat 1–4. Nämä luokat ilmaisevat turvakomponentin vaadittavan käyttäytymisen suhteessa vikasietoisuuteen. (SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 40.)

2.4.1 Luokat B, 1, 2, 3, 4 ja niiden rakenteet

Luokka B on alhaisin luokka, jossa vian esiintyminen voi aiheuttaa turvatoiminnon katoamisen. Suurin mahdollinen suoritustaso luokan B rakenteissa on PL b. Luokan B turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien on kestävä odotettavissa olevat käyttökuormitukset, aineiden vaikutukset, ja muita ulkoisia häiriöitä, kuten tärinä ja tehonsyötön katkeaminen. Luokka 1 soveltaa samoja vaatimuksia kuin luokka B. Lisäksi luokan 1 osien vaatimuksissa on, että niiden suunnittelussa ja rakentamisessa on käytetty hyvin koeteltuja komponentteja ja turvallisuusperiaatteita. Hyvin koetellulla komponentilla tarkoitetaan sellaista komponenttia, jota käytetään laajasti ja josta on hyviä kokemuksia vastaavanlaisissa sovelluksissa. Se voi tarkoittaa myös sitä, että komponenttivalmistuksessa on käytetty periaatteita, joilla voidaan osoittaa komponentin sopivuus ja luotettavuus turvallisuussovelluksissa. Luokan 1 komponenttien parempi vikakestoisuus verrattuna luokan B komponentteihin saavutetaan komponenttivalinnalla ja kuinka niitä sovelletaan. Suurin mahdollinen suoritustaso luokassa 1 on PL c. (SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 40-43.)

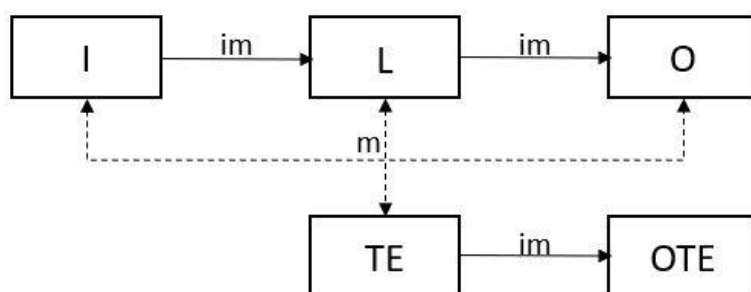
Luokka B ja 1



Kuvio 1. Luokkien B ja 1 rakenne
(SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 42)

Kuviossa 1 on luokkien B ja 1 rakenne, jossa im on liitännäsvälineet, I on tuloyksikkö (esimerkiksi anturi), L on logiikka ja O on lähtöyksikkö kuten pääkontaktori.

Luokka 2



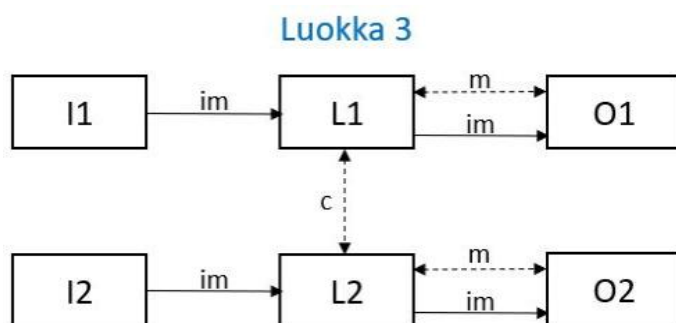
Kuvio 2. Luokan 2 rakenne
(SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 45)

Kuviossa 2 on luokan 2 rakenne, jossa im on liitännäsvälineet, I on tuloyksikkö, L on logiikka, O on lähtöyksikkö, m on valvonta, TE on testauslaitteisto ja OTE on lähtö testauslaitteistolta.

Luokassa 2 sovelletaan samoja vaatimuksia kuin luokissa B ja 1. Lisäksi luokassa 2 koneen ohjausjärjestelmän on testattava turvatoiminnot ajoittain. Tämä tarkistus on suoritettava muun muassa koneen käynnistyksessä, ennen uuden toimintajakson alkamista, heti turvatoiminnon vaatimuksesta ja aika ajoin koneen käydessä. Tarkistus voi alkaa automaattisesti, ja jos turvatoiminnon testauksessa vikoja ei paljastu, sen on sallittava käyttötoiminta. Mutta jos vika paljastuu, tarkistuksen on annettava testauslaitteistolta lähtösignaali (OTE kuviossa 2), joka käynnistää turvallisen tilan. PL d on suurin mahdollinen suoritustaso luokassa 2. (SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 43-45.)

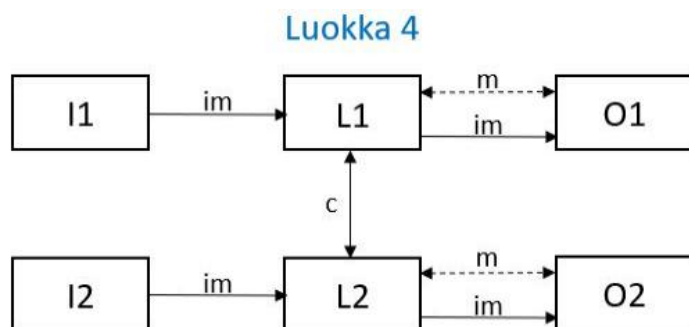
Luokan 3 rakenne on kuvattu kuviossa 3. Kuviossa im on liitännäsvälineet, c on ristiinvalvonta kanavien välillä, I1 ja I2 ovat tuloyksiköitä (anturit yms.), L1 ja L2 ovat

logiikoita, O1 ja O2 ovat lähtöyksiköitä (kontaktori tai vastaava) ja m on valvonta. Ristiin valvonta logiikoiden välillä ja valvonta logiikan ja lähdön välillä on merkitty katkoviivalla, jolla tarkoitetaan mahdollista vikojen paljastamista, eli muutamat viat paljastuvat, mutta eivät kaikki.



Kuvio 3. Luokan 3 rakenne
(SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 46)

Kuten luokassa 2, myös luokassa 3 sovelletaan luokkien B ja 1 vaatimuksia. Lisäksi turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien suunnittelussa on otettava huomioon, että mikään yksittäinen vika turvaosissa ei saa aiheuttaa turvatoiminnon menettämistä. Yksittäisen vian ilmetessä turvatoiminto suoritetaan aina, esimerkiksi koneen pysäyttäminen. (SFS-EN 13849-1, 2015, 45-46.)



Kuvio 4. Luokan 4 rakenne
(SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 47)

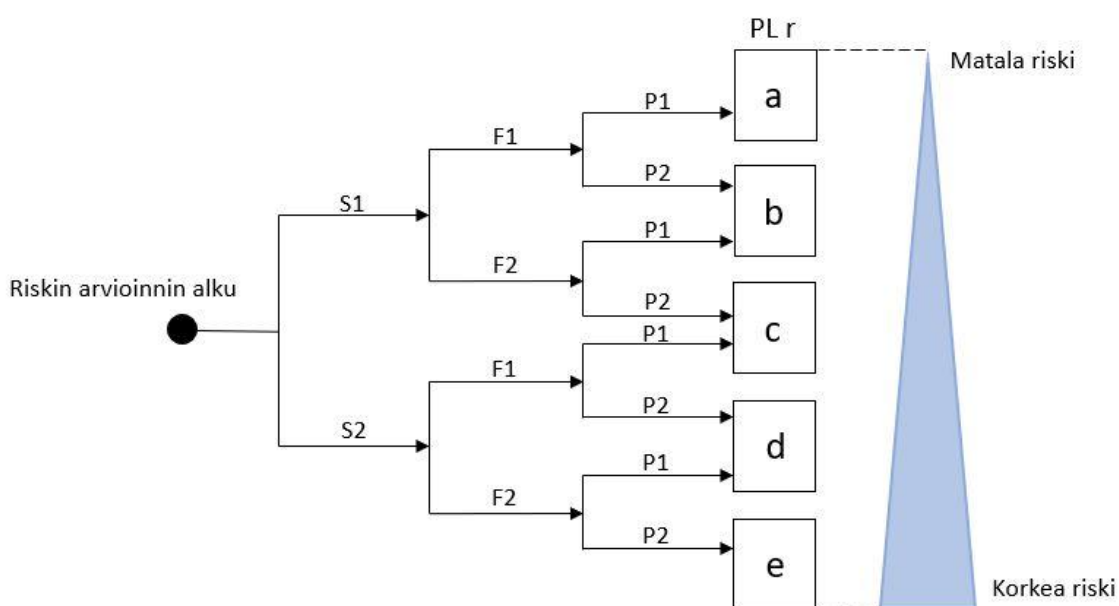
Luokan 4 rakenne on lähestulkoon samanlainen kuin luokan 3. Molemmat rakenteet ovat kaksikanavaisia ja logiikan kanavien L1 ja L2 välillä on ristiinvalvonta.

Luokkien B ja 1 vaatimusten ja periaatteiden noudattamisen lisäksi luokassa 4 ohjausjärjestelmän on pystyttävä yhden vian ilmetessä toteuttamaan turvatoiminto. Vaaditaan myös, ettei havaitsematta jääneiden vikojen kertymisestä saa aiheutua

vaaratilannetta, joka johtaa turvatoiminnon menettämiseen. (SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 45-46.)

2.4.2 Suoritustason määrittäminen riskigraafilla

Standardissa riskin arviointi esitetään kuviossa 5 olevalla riskigraafilla, joka perustuu standardiin ISO 12100. Kuviossa selitteellä PL r tarkoitetaan vaadittavaa suoritustasoa. Muuttuja S tarkoittaa vamman vakavuutta. S1 on lievä vamma (yleensä palautuva), ja S2 on vakava eli palautumaton vamma tai kuolema. F-muuttujalla tarkoitetaan vaaralle altistumisen taajuutta tai kestoa. F1 tarkoittaa, että vaaralle altistutaan harvoin tai toisinaan ja/tai altistumisaika on lyhyt. F2-vaihtoehto on jatkuva tai toistuva altistuminen ja/tai altistumisaika on pitkä. Viimeinen muuttuja on P, joka tarkoittaa vaaran välttämisen tai vahingon rajoittamisen mahdollisuutta. P1-vaihtoehtolla se on mahdollista tietyissä olosuhteissa, ja P2-vaihtoehtolla se on tuskin mahdollista. (SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 55.)



Kuvio 5. Standardin ISO 13849-1 mukainen riskigraafi (SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 55)

2.5 Turvallisuuden eheystason ja suoritustason vastaavuus

Standardissa ISO 13849-1 käytetään PL-tasoa ja IEC 62061 -standardissa SIL-luokitusta. Molempia standardeja on mahdollista käyttää yhtä aikaa esimerkiksi siten, että ISO 13849-1 -standardin mukaan käsitellään hydraulikka ja pneumatiikka ja standardin IEC 62061 mukaan sähköinen ohjausjärjestelmä. (Malm, Venho-Ahonen & Vanhala 2010, 14.)

Standardissa ISO 13849-1 turvallisuuden eheystason ja suoritustason vastaavuus on esitetty taulukon 6 mukaisesti. Suoritustasoa PL a käytetään yleisesti lieviin vammoihin, jotka ovat palautuvia vammoja. Tälle tasolle ei ole vastaavuutta standardin IEC 62061 turvallisuuden eheyden tasojen asteikolla. (SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 24.)

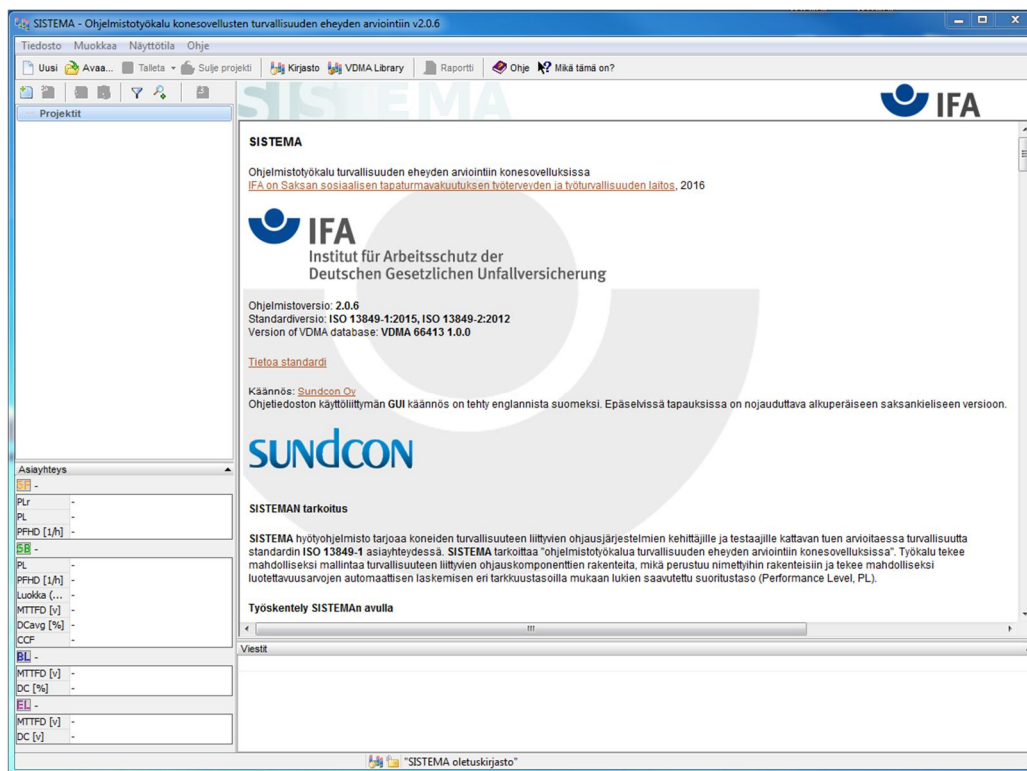
Taulukko 6. Turvallisuuden eheystason ja suoritustason vastaavuus (SFS-EN ISO 13849-1, 2015, 24)

Turvallisuuden eheystaso (SIL)	Suoritustaso (PL)
-	a
1	b
1	c
2	d
3	e

2.6 Ohjelmistotyökalu Sistema

Sistema on IFA:n (Saksan sosiaalisen tapaturmavakuutuksen työturvallisuus- ja terveyslaitos) kehittämä tietokoneavusteinen suunnitteluohjelma koneiden turvallisuuden liittyvien ohjausjärjestelmien suunnitteluun. Se on ilmaisohjelma, ja siitä on saatavilla suomenkielinen versio. Ohjelmistotyökalu perustuu standardiin ISO 13849-1 ja sen asettamiin säännöksiin. Ohjelmiston laskennan avulla voidaan selvittää, saavuttaako suunniteltu ohjausjärjestelmä vaaditun suoritustason. Työkalun etuna on, että sen avulla tunnistetaan ohjausjärjestelmän heikoimmat lenkit luotet-

tavuuden kannalta. Lisäksi ohjelmisto laskee automaattisesti vaikeat luotettavuuslaskelmat. Nämä laskelmat perustuvat Markovin dynaamisilla malleilla tehtyihin malliratkaisuihin. (Sundcon Oy [Viitattu 21.3.2018].)



Kuva 2. Sisteman aloitussivu

3 KONETURVALLISUUDEN KEHITTÄMINEN

Boliden Kokkolan konekanta on suuri ja koneet löytyvät kunnossapitojärjestelmästä. Tähän järjestelmään ei kuitenkaan ole suoraan ilmoitettu koneen tarkempia tietoja, kuten valmistajaa ja valmistusvuotta. Tämän ongelman ratkaisemiseksi kehitetään taulukko, johon nämä tiedot saadaan koneista lisättyä. Näin saadaan koneiden tiedot samaan taulukkoon, eikä niitä tarvitse yksitellen hakea järjestelmästä, verkkolevyiltä tai osastojen arkistoista.

3.1 Taulukon suunnittelu

Työ aloitettiin käymällä läpi, mitä koneista halutaan tietää ja mitä direktiivi vaatii. Oleellisimpina asioina pidettiin koneen tai laitteen nimeä, valmistajaa, valmistusvuotta, CE-merkkiä, EY-vaatimustenmukaisuusvakuutusta, käyttöohjetta ja huoltoohjetta. Tehdas jakaantuu neljään eri osastoon ja rikkihappotehtaaseen, jota ei tässä työssä otettu huomioon. Osastoihin kuuluu pasutto, puhdistamo, elektrolyysi ja valimo.

Koneiden listaaminen aloitettiin tulostamalla tehtaan kunnossapitojärjestelmästä lista koneista osastoittain, ja jokainen kone käytiin yksitellen läpi. Joidenkin koneiden ja laitteiden kohdalla tultiin siihen tulokseen, että ne rajataan tästä työstä pois, eikä niitä oteta huomioon taulukkoa tehtäessä.

Kun kaikkien osastojen koneet oli listattu, aloitettiin koneiden dokumentaation läpikäynti tehtaan verkkolevyiltä. Koneiden dokumenteista etsittiin valmistaja ja valmistusvuosi ja ne kirjattiin taulukkoon. Jos dokumentaatiosta löytyi CE-merkintä, EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus, liittämismerkintä tai mahdolliset valmistajan antamat käyttö- ja huolto-ohjeet, merkittiin myös ne taulukkoon. Vain muutamasta koneesta löytyi CE-merkintä verkkolevyiltä, mutta niitä voisi löytyä lisää paperiarkistoista. Paperiarkistojen läpikäynti rajattiin pois tästä työstä. Jos koneella oli tehtaan tekemä työohje, lisättiin se taulukkoon. Koneen hätäseispiirin piirustusnumero merkittiin myös listaan. Dokumentin nimet lisättiin kommentilla Excel-tilaan. Tämä sen takia, ettei taulukko täyttyisi ylimääräisillä sarakkeilla, jotka sekoittavat listaa.

Taulukkoon päätettiin lisätä värejä, joiden tarkoituksena on visuaalisesti esittää dokumentaation puutteita. Ennen vuotta 1995 valmistetuissa koneissa ei vaadita CE-merkintää eikä vaatimustenmukaisuusvakuutusta, joten näissä tapauksissa näiden dokumenttien kohdalle tulee harmaat kentät. Jos koneesta puuttuu jokin dokumentti, tai sitä ei ole järjestelmässä, kenttä on maalattu punaisilla poikkiviivoilla. Taulukon vasempaan laitaan lisättiin sarake, joissa väreillä esitetään koneiden dokumenttien kattavuus. Taulukon 7 mukaisesti tehtiin värikoodaus koneille, jotka on valmistettu ennen vuotta 1995. Keltainen väri tarkoittaa, ettei käyttö- ja huolto-ohjetta löydy ollenkaan. Vaaleanvihreällä osoitetaan, että ennen vuotta 1995 valmistetuista koneista löytyy joko käyttö- tai huolto-ohje. Jos koneesta löytyy molemmat ohjeet, väriksi tulee vihreä.

Taulukko 7. Värikoodaus, jos kone on valmistettu ennen vuotta 1995

Kone on valmistettu ennen vuotta 1995	
Keltainen	Käyttöohje ja huolto-ohje puuttuvat
Vaaleanvihreä	Toinen ohjeista puuttuu
Vihreä	Molemmat ohjeet löytyvät

Konedirektiivi vaatii vuonna 1995 tai sen jälkeen valmistetuille koneille EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen ja CE-merkinnän, joten näille koneille tehtiin värikoodaus taulukon 8 mukaisesti.

Taulukko 8. Värikoodaus, jos kone on valmistettu vuonna 1995 tai sen jälkeen

Kone on valmistettu vuonna 1995, tai sen jälkeen	
Punainen	Kaikki neljä dokumenttia puuttuvat
Oranssi	Kolme vaadituista dokumenteista puuttuu
Keltainen	Kaksi dokumenttia puuttuu
Vaaleanvihreä	Yksi dokumentti puuttuu
Vihreä	Kaikki neljä dokumenttia löytyy

Punaisella värillä merkityistä koneista ei löydy mitään vaadittua dokumenttia. Oranssi väri osoittaa, että koneesta löytyy yksi vaadituista dokumenteista. Keltai-

sella värillä kerrotaan koneesta löytyvän kaksi dokumenttia. Vaaleanvihreä tarkoittaa, että vuoden 1995 jälkeen valmistetuista koneista on kolme dokumenttia saatavilla. Jos kone on merkitty vihreällä, se tarkoittaa sitä, että siitä löytyy kaikki vaaditut dokumentit. Eli silloin järjestelmään on lisätty koneen EY-vaatimustenmukaisuusvaikutus, CE-merkintä (CE-merkin pitää olla kiinnitetty koneeseen), käyttöohje ja huolto-ohje.

Kuvassa 3 on osa elektrolyysin koneista ja kuvassa 4 on puhdistamon koneita. Kuvista näkee, että joistakin koneista löytyy vaaditut dokumentit. Kuvista huomaa myös sen, ettei kaikkien koneiden dokumentaatio ole täydellinen. Tämä ei tarkoita sitä, etteikö dokumentteja olisi, vaan ne voivat olla esimerkiksi paperiarkistoissa.

Dokumentit	Konelinja / koneyhdistelmä	Laite / koneenosa	Valmistaja	Valmistusv.	Hätäseis-piiri (piir.no)	Rakn. arviointi	EY-vaatimusten- mukaisuusvaikutus- tai lillatamvaikutus	CE-merkintä	Käyttöohje	Huolto-ohje	Työohje	Huom.
	Anodipesukone (AK2)		Norcar-BSB		50AK6A11 (205966)							
4		Vastaanottokuljetin 1	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
4		Vastaanottokuljetin 2	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
4		Pesukuljetin	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
4		Pesuasema	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
4		Puristin	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
4		Siirtoannostin	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
4		Eristinkuljetin	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
4		Annostin 2	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
4		Hylkykuljetin	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
4		Palautuskuljetin 1	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
4		Palautuskuljetin 2	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
4		Autom. siirtanosturi	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
4		Autom. atrain	Norcar-BSB	2002			x	x	x	x	x	
	KULJETUSJÄRJESTELMÄ											
0		Puolipukkinosturi 1 (PN1)	Partek Oy	1986	50AK7A1 (204947)							x
0		Puolipukkinosturi 2 (PN2)	Partek Oy	1986	50AK7A2 (204909)							x
0		Puolipukkinosturi 3 (PN3)	Partek Oy	1986	50AK7A3 (204871)							x
0		Puolipukkinosturi 4 (PN4)	PCE	2001	50AK7A8 (206273)							x
2		Siirtovaunu 1 (SV1)	Mesmec	2016			x	x				x
2		Siirtovaunu 2 (SV2)	PCE	1997								x
2		Siirtovaunu 3 (SV3)	Mesmec	2017			x	x				x

Kuva 3. Taulukko elektrolyysin koneista

Dokumentti	Konelinja / koneyhdistelmä	Laite / koneenosa	Valmistaja	Valmistusv.	Hetäkes- pää (pää no)	Riskin arvio	EY-vaatimusten mukaisuus tai liittäminen konetta	CE-merkintä	Käyttöohje	huolto-ohje	Työohje	Huom.
	Co-sakan suodattimet	SUP1- Suotopuristin	NovaTek	1997								
		SUP2- Suotopuristin	NovaTek	1997								
		SUP3- Suotopuristin	NovaTek	1997								
		SUP4- Suotopuristin	NovaTek	1997								
	CD-POISTO											
	Co-sakan jatkokäsittely	COP51. Automaattinen painesuodatin	LAROX	1997								
		COP52. Automaattinen painesuodatin	LAROX	1997								
	MGN-POISTO											
	Mgn poiston suodattimet											
3		MgNAS1 Nauhasuodatin	LAROX	2008								
4		MgNAS1 Ruuvikujjetin 1	Mesmec	2009								
4		MgNAS1 Ruuvikujjetin 2	Mesmec	2009								
3		MgNAS2 Nauhasuodatin	RPA Process Technologies	2013								
4		MgNAS2 Ruuvikujjetin 1	Mesmec	2014								
4		MgNAS2 Ruuvikujjetin 2	Mesmec	2014								

Kuva 4. Taulukko puhdistamon koneista

3.2 Työkalu turvallisuuden eheystason määrittämiseen

Tehtaan nykyinen koneen riskin arviointiin käytetty työkalu ei ota kantaa ohjausjärjestelmän vaadittaviin SIL- tai PL-tasoihin. Tämän takia päätettiin kehittää työkalu turvallisuuden eheystason määrittämiseen standardia SFS-EN 62061 apuna käyttäen. Työkalun kehittäminen aloitettiin suunnittelemalla se Microsoft Excelillä. Työkalussa otettiin kantaa standardin mukaisesti vahingon vakavuuteen ja esiintymistodennäköisyyteen rastittamalla kyseiset kohdat. Kaavioiden avulla tulokseksi saatiin SIL-taso eli turvallisuuden eheystaso sekä standardin SFS-EN ISO 13849-1 suoritustaso (PL) vastaavuustaulukon (taulukko 6) avulla.

			Luokka (CI)				
Seuraukset	Vakavuus (Se)	X	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
Kuolema, näön tai käden menetys	4		SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
Palautumaton, sormen menetys	3	x			SIL 1	SIL 2	SIL 3
Palautuva, sairaanhoito	2					SIL 1	SIL 2
Palautuva, ensihoito	1						SIL 1
Altistumisen taajuus ja kesto (Fr)	Kesto > 10 minuuttia	X					
<= 1h	5						
> 1 tunti - <= 1 päivä	5						
> 1 päivä - <= 2 viikkoa	4	x					
> 2 viikkoa - <= 1 vuosi	3						
> 1 vuosi	2						
Tapahtuman todennäköisyys	Todennäköisyys (Pr)	X					
Erittäin todennäköinen	5						
Todennäköinen	4	x					
Mahdollinen	3						
Harvoin	2						
Ei huomiotava	1						
Vahingon välttämisen tai rajoittamisen todennäköisyydet	Vältettävyys (Av)	X					
Mahdoton	5	x					
Mahdollista	3						
Todennäköistä	1						
Vakavuus (Se)	Kesto (Fr)	Todennäköisyys (Pr)	Vältettävyys (Av)	Luokka (CI)	SIL-taso	PL-taso	
4							
3	4	4	5	13	SIL 2	PL d	
2							
1							

Kuva 5. Turvallisuuden eheystason määrittäminen Excelin avulla.

Tässä vaiheessa todettiin, että työkalu olisi yksinkertaisempi käyttäjälle, jos se tehtäisiin sovellukseksi. Myös sovellusta olisi helpompi käyttää ja olisi mahdollisuus tulostaa raportti. Sovellusta tehtiin Microsoftin Visual Studiolla ja ohjelmointikieleksi valittiin C#, sillä työkalun kehittäjällä oli eniten kokemusta tästä ohjelmointikielestä. Sovelluksessa määritetään standardin mukaisesti vahingon vakavuus ja esiintymistodennäköisyys. Sovellukseen lisättiin tekstikentät, joihin voi täyttää koneen nimen, havaitun riskin, riskin arvioijat sekä kommenttikenttä. Kommenttikenttään voi kirjoittaa esimerkiksi ehdotuksen toteutustavalle tai ehdottaa käytettäviä turvalaitteita. Sovellus laskee vaadittavan SIL-tason ja antaa PL-tason SIL- ja PL-tasojen vastavuustaulukosta. Sovelluksesta saa tallennettua Excel-tiedoston, jonka voi esimerkiksi jälkepäin tallentaa pdf-muotoon (liite 1). Raportista näkee tarvittavat tiedot riskistä, ja mitkä ovat vahingon vakavuus ja esiintymistodennäköisyys. Myös sovelluksen kommenttikenttään kirjoitetut ehdotukset tai toteutustavat näkyvät raportissa. Turvalaitteita valittaessa ja turvapiiriä todennettaessa raportista nähdään vaadittu turvallisuuden eheystaso ja/tai suoritustaso.

SIL-tason määrittäminen

Kone: Pb valukaruselli

Havaittu riski: Puristuminen ja kuumat pinnat

Tekijä(t): FIMATN

Päivämäärä: 29. 3.2018

Vakavuus	Luokka CI				
Se	3 - 4	5 - 7	8 - 10	11 - 13	14 - 15
4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
3			SIL 1	SIL 2	SIL 3
2				SIL 1	SIL 2
1					SIL 1

$Luokka\ CI = Fr + Pr + Av$

Seuraukset

Vakavuus (Se)

Kuolema, näön tai käden menetys ☐ 4

Palautumaton, sormen menetys ☒ 3

Palautuva, sairaanhoito ☐ 2

Palautuva, ensihoito ☐ 1

Altistuksen taajuus

Kesto (Fr)

≤ 1 tunti ☐ 5

> 1 tunti ... ≤ 1 päivä ☒ 5

> 1 päivä ... ≤ 2 viikkoa ☐ 4

> 2 viikkoa ... ≤ 1 vuosi ☐ 3

> 1 vuosi ☐ 2

Esiintymistodennäköisyys

Todennäköisyys (Pr)

Erittäin todennäköinen ☒ 5

Todennäköinen ☐ 4

Mahdollinen ☐ 3

Harvoin ☐ 2

Ei huomioitava ☐ 1

Mahdollisuus välttää tai rajoittaa

Vältettävyyden (Av)

Mahdoton ☐ 5

Mahdollista ☒ 3

Todennäköistä ☐ 1

Kommentit: karusellin nopeuden valvonnalla. Lisätään hätäseisäinikkeit.

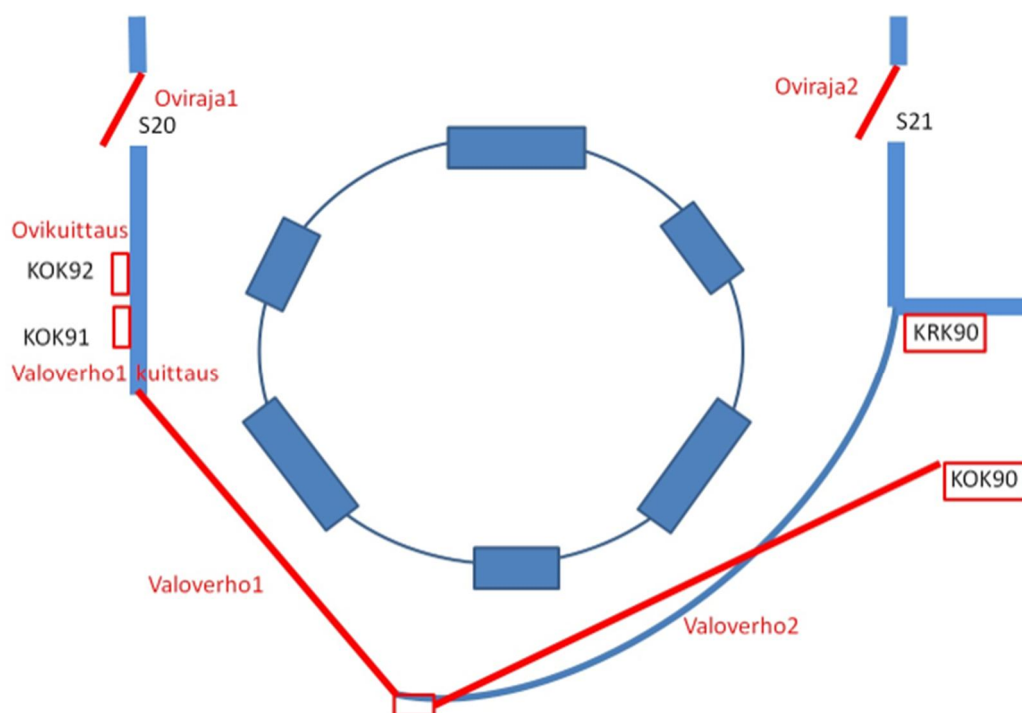
Laske SIL- ja PL-tasot Luo xlsx-tiedosto

Kuva 6. Sovellus SIL-tason määrittämiseen

3.3 Koneen suoritustason määrittäminen

Lopuksi työssä otettiin esimerkiksi kone, jolle määritettiin aikaisemmin tehdyn sovelluksen avulla turvallisuuden eheystaso ja/tai vaadittu suoritustaso. Esimerkiksi valittiin pasuton sivutuotteella oleva lyijyn valukaruselli, jolle määritettiin sovelluksella vaadittu suoritustaso PLr. Koneeseen on jo lisätty turvalaitteet, mutta tässä esimerkissä riskiä arvioidessa ei huomioida käytössä olevia turvalaitteita.

Koneen riskinä (ilman turvalaitteita) on raajan jääminen karusellin väliin sen pyöriessä ja kuumat pinnat voivat aiheuttaa palovamman. Lyijyn valukaruselli sisältää hydraulikkakoneikon, joten konetta turvallistaessa ja ohjausjärjestelmän suunnitteluvaiheessa on käytetty avuksi standardia ISO 13849-1 ja noudatettu standardin vaatimuksia.

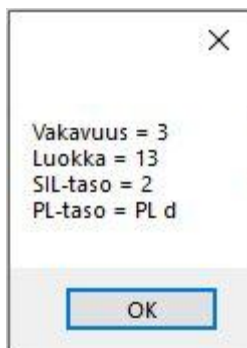


Kuva 7. Valukarusellin turvalaitteiden sijoitus

Koneen turvallistaminen on toteutettu kahdella valoverholla, kahdella ovirajalla ja kahdella hätäseispainikkeella, jotka on kytketty omiin turvareleisiin. Turvareleet ohjaavat turvahyväksytyjä apureleitä, joilla katkaistaan ohjaus hydraulikkakoneikolta ja valukarusellilta. Näiden turvalaitteiden lisäksi valukarusellissa on nollanopeuden valvonta, joka valvoo karusellin pyörimistä. Kun karuselli on pysähtynyt ja valoverhosta mennään läpi, hydraulikkakoneikko pysyy käynnissä. Karusellin ollessa pysähtyneenä, muut liikkeet on mekaanisesti estetty eikä hydraulikkakoneikkoa tarvitse sammuttaa. Ovirajoilla ja valoverhoilla valvotaan työntekijöiden kulkua valukarusellin tilaan. Karuselli ja hydraulikkakoneikko pysähtyvät, jos toinen ovista avataan, tai valoverhosta mennään läpi valukarusellin pyöriessä. Jos ovi on avattu tai valoverhosta on menty läpi, täytyy ovien olla kiinni ja kuittauspainikkeella voidaan kuitata turvatoiminto takaisin päälle. Hätäseispainikkeilla pysäytetään valukaruselli sekä hydraulikkakoneikko. Hätäseis voidaan kuitata omalla kuittauspainikkeella.

Koneen riskiksi sovellukseen täytettiin puristuminen ja kuumat pinnat, seuraukseksi palautumaton vamma, kuten raajan luunmurtuma tai sormen menetys. Altistumisen taajuudeksi valittiin tunnista päivään, sillä koneen alueella käydään päivittäin useaan kertaan. Vaaran esiintymistodennäköisyys on erittäin todennäköinen ja vaara

on mahdollista välttää, riippuen työntekijän kokemuksesta koneen käytössä. Sovellus laski näiden muuttujien avulla turvallisuuden eheystasoksi SIL 2 ja vastaavuus-
taulukon avulla vaadituksi suoritustasoksi saatiin PL d.



Kuva 8. Sovelluksesta saadut tulokset

Seuraavaksi koneen turvapiirejä ryhdyttiin rakentamaan ohjelmistotyökalu Siste-
maan koneen turvapiirikaavioiden (liite 2) mukaan. Sistemalla voidaan todentaa tur-
vapiirien täyttävän vaaditun suoritustason PL d. Projektin alle tehtiin 5 turvatoimin-
toa, hätäseis, ovirajat, nollanopeuden valvonta ja molemmille valoverhoille omat tur-
vatoiminnot.



Kuva 9. Projektin rakenne Sistemassa

Jokaiselle turvatoiminnolle on oma turvareleensä, joka löytyi valmiiksi valmistajan omasta Sistema-kirjastosta. Myös hätäseispainikkeet, ovirajat, valoverhot, apureleet ja nollanopeuden valvontarele löytyivät valmistajien omista kirjastoista. Kaikki komponentit ovat luokkaa 4 ja saavuttavat suoritustason PL e, paitsi nollanopeuden valvontarele, joka on luokan 3 komponentti, ja saavuttaa saman PL e -suoritustason. Sistema sai laskettua jokaiselle turvatoiminnolle suoritustasoksi PL e, joka on korkein suoritustaso. Vaadittu suoritustaso oli PL d, joten turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmän osat saavuttavat vaaditun suoritustason. Suoraan ohjelmasta tai tulostetun raportin avulla (liite 3) nähdään vaadittu suoritustaso sekä jokaisen turvatoiminnon suoritustaso. Esimerkissä koneelle saatiin sovelluksella määritettyä suoritustaso, lisättyä turvakomponentit Sistemaan ja rakennettua niistä turvatoiminnot. Sistemalla saatiin todennettua ohjausjärjestelmän saavuttavan vaaditun suoritustason.

4 TULOKSET JA POHDINTA

Taulukon avulla todettiin, että joidenkin koneiden dokumentaatiossa on puutteita, varsinkin vanhemmissa koneissa. Uudemmissa koneissa dokumentaatio on paremmassa kunnossa ja osasta koneista löytyy kaikki vaaditut dokumentit. Taulukko lähetetään tehtaan osastoille ja ohjeistetaan, kuinka taulukkoa käytetään ja ylläpidetään. Taulukkoa on tarkoitus päivittää aina kun koneita tulee lisää tehtaalte. Lisäksi koneiden dokumentaatiota on tarkoitus parantaa. Ja lisäksi taulukkoa päivitetään dokumentaation lisääntyessä.

Työssä kehitetty sovellus suunniteltiin mahdollisimman yksinkertaiseksi. Sovellusta ei ole vielä testattu uuden koneen suunnittelun yhteydessä, mutta sovelluksella saatiin onnistuneesti määritettyä vanhalle koneelle vaadittu suoritustaso, arvioimalla koneen riskit ottamatta huomioon sen turvalaitteita.

Jos sovelluksella saatu turvallisuuden eheystaso tai suoritustaso todennetaan Sistemalla, saadaan hyvä dokumentaatio koneen turvallisuuteen liittyvistä ohjausjärjestelmistä.

Sovelluksesta on selvää hyötyä koneita ja niiden turvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmän osia suunniteltaessa. Tulevaisuudessa sovellusta voisi kehittää paremmaksi muuttamalla raportin tiedostomuodon suoraan pdf-muotoiseksi sekä lisäämällä ohjeet vaaran riskitekijöiden määrittämiseen.

LÄHTEET

Boliden. Ei päiväystä. Boliden Kokkola. [Verkkosivu]. Boliden. [Viitattu 20.3.2018]. Saatavana: <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-kokkola/>

Direktiivi 2006/42/EY. 2006. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta. [Verkojulkaisu]. Euroopan unionin virallinen lehti. [Viitattu 24.3.2018]. Saatavana: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0042:FI:PDF>

Euroopan komissio. 2010. Konedirektiivi 2006/42/EY soveltamisopas. Toinen painos. [pdf-dokumentti]. Euroopan komissio. [Viitattu 24.3.2018]. Saatavana: <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/9202/attachments/1/translations/fi/renditions/pdf>

Hietikko, M., Malm, T. & Alanen, J. 2009. Koneiden ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

Malm, T., Venho-Ahonen, O. & Vanhala, M. 2010. Automaatiouusintojen turvallisuus konejärjestelmissä. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

SFS-EN 62061. 2005. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvien sähköisten, elektronisten ja ohjelmoitavien elektronisten ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 13849-1. 2015. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. 3. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Siirilä, T. 2009. Koneturvallisuus Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. 2. uudistettu painos. Espoo: Inspecta.

Sundcon Oy. Ei päiväystä. Ohjelmistotyökalu Sistema koneiden turvatoimintojen suunnitteluun. [Verkkosivu]. Sundcon Oy. [Viitattu 21.3.2018]. Saatavana: <http://www.sundcon.fi/turvallisuus/sistema-ohjelmistotyokalu>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Ei päiväystä. CE-merkintä. [Verkkosivu]. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. [Viitattu 21.3.2018]. Saatavana: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/Kulutustavarat/CE-merkki/>

LIITTEET

Liite 1. SIL-määrittelyn raportti sovelluksesta

Liite 2. Lyijyn valukarusellin turvapiirikaaviot

Liite 3. Lyijyn valukarusellin Sistema-raportti

LIITE 1 SIL-määrittelyn raportti sovelluksesta

SIL-luokitus standardin EN 62061 mukaan 29.3.2018

Tekijä(t): FIMATN

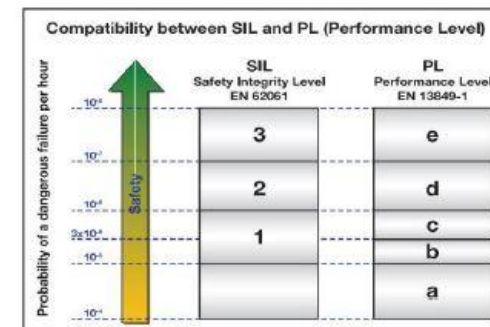
Kone: Pb valukaruselli
Havaittu riski: Puristuminen ja kuumat pinnat
Turvallisuuden eheyden taso (SIL): SIL 2
Vaadittava suoritustaso (PLr): PL d

Seuraukset: Palautumaton, sormen menetys
Altistumisen taajuus: > 1 tunti ... <= 1 päivä
Esiintymistodennäköisyys: Erittäin todennäköinen
Mahdollisuus välttää tai rajoittaa: Mahdollista

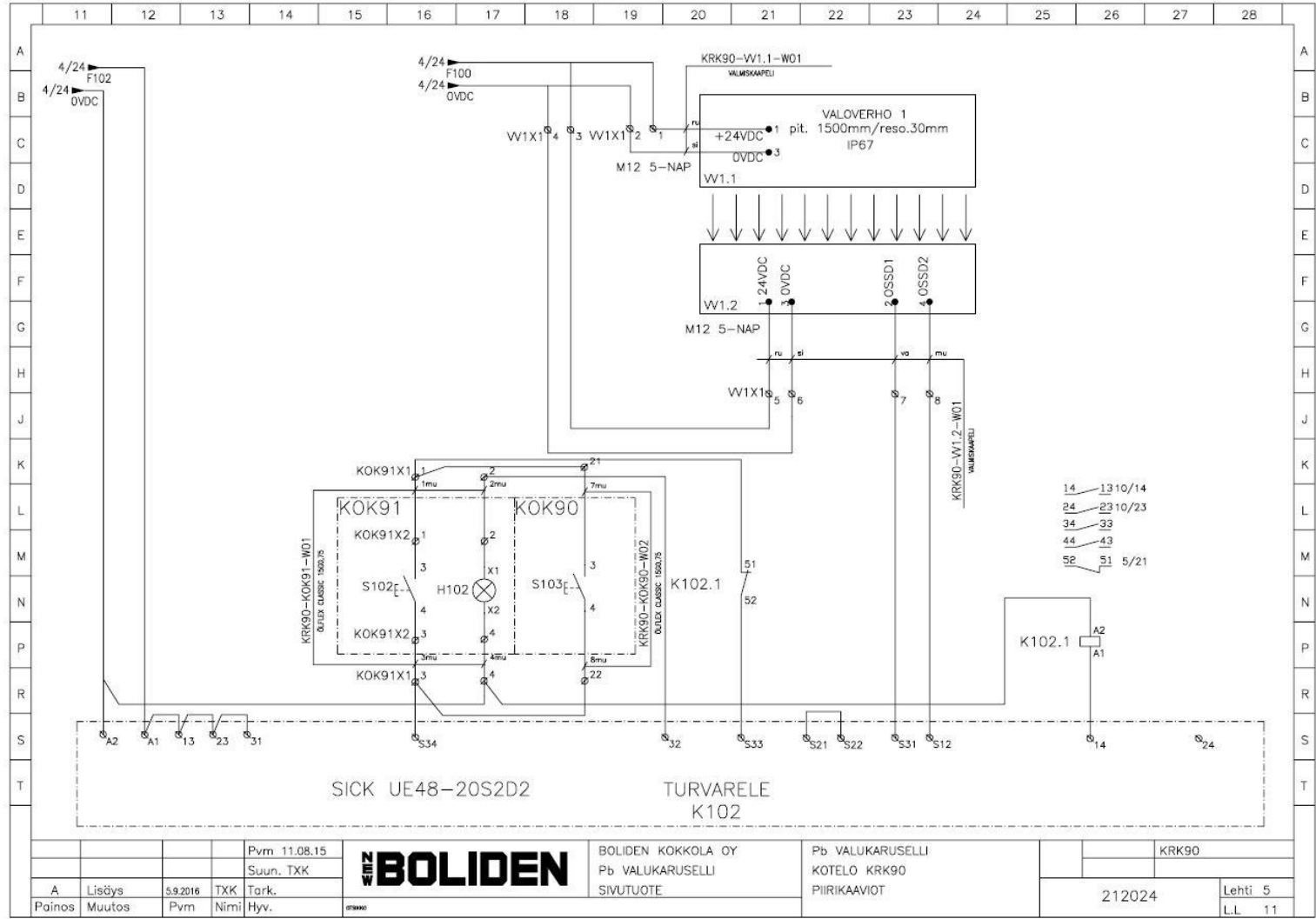
Vakavuus Se	Luokka Cl				
	3 - 4	5 - 7	8 - 10	11 - 13	14 - 15
4	SIL 2 PL d	SIL 2 PL d	SIL 2 PL d	SIL 3 PL e	SIL 3 PL e
3			SIL 1 PL b (Cl=8) PL c (Cl=9-10)	SIL 2 PL d	SIL 3 PL e
2			PL a	SIL 1 PL b (Cl=11) PL c (Cl=12-13)	SIL 2 PL d
1				PL a	SIL 1 PL b (Cl=14) PL c (Cl=15)

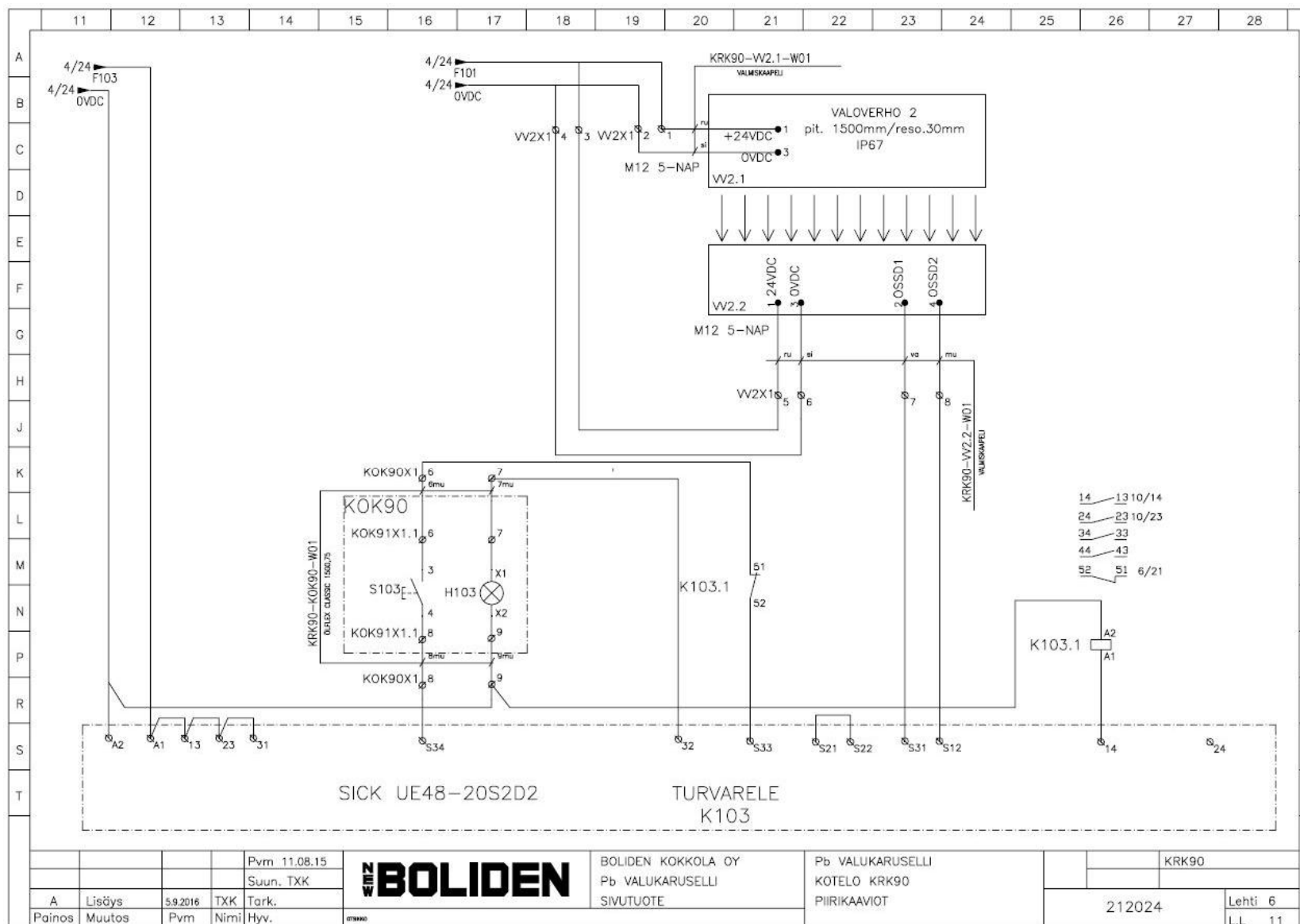
Kommentit:

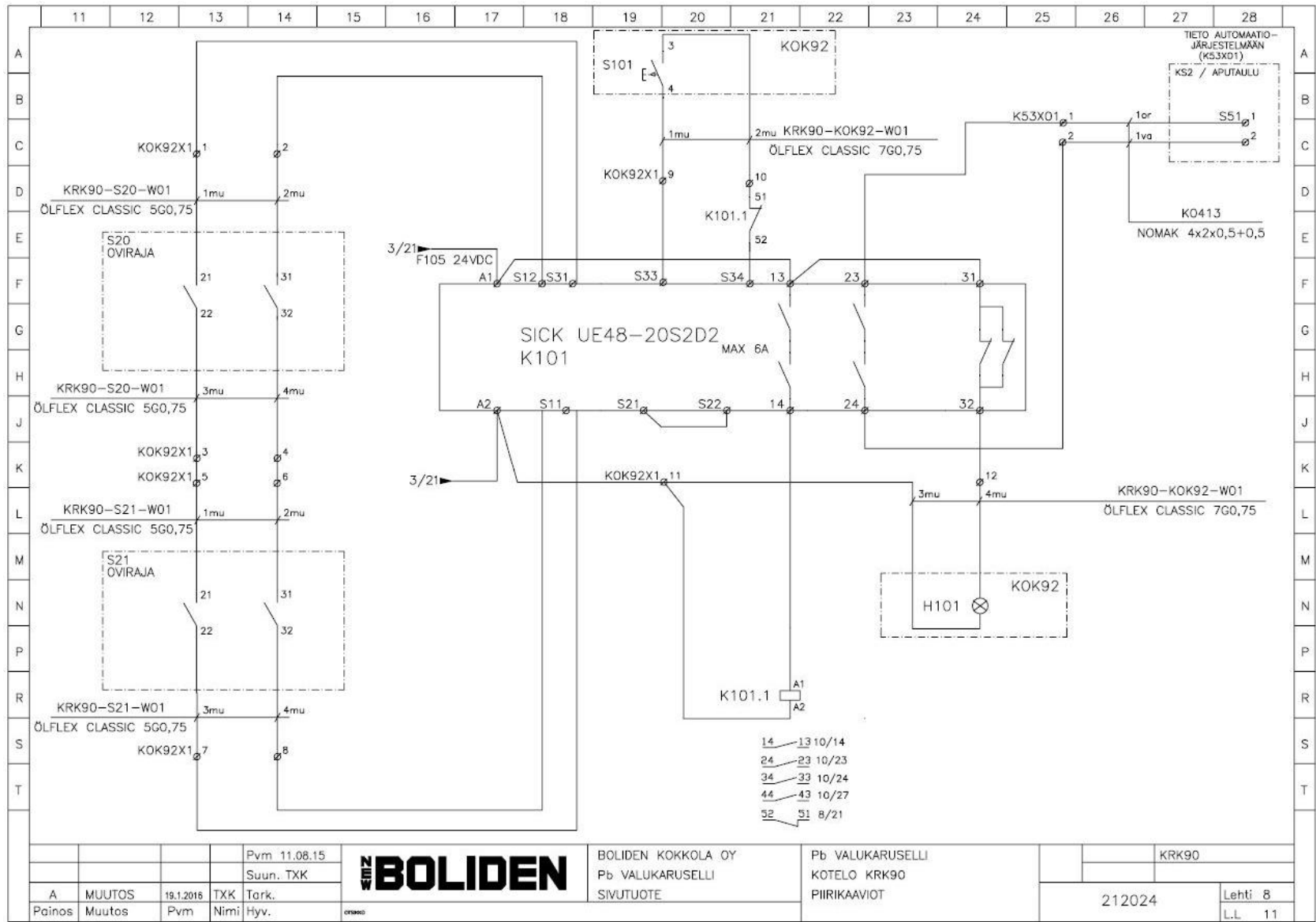
Toteutus valoverhoilla, ovirajoilla ja
 karusellin nopeuden valvonnalla. Lisätään
 hätäseispainikkeet.



LIITE 2 Lyijyn valukarusellin turvapiirikaaviot







LIITE 3 Lyijyn valukarusellin Sistema-raportti

SISTEMA - Ohjelmistotyökalu konesovellusten turvallisuuden eheyden



Projektin nimi: Pb Valukaruselli

Tiedoston päiväys: 29.03.2018 11:32:57 Raportin päiväys: 29.3.2018 Tarkistussumma: 287c2a54d3a7f0b8fb8a3e5b94b0fc20

PR Projektin nimi: Pb Valukaruselli

Projektitiedoston nimi:	C:\Users\fimatr\Documents\SISTEMA\Projects\Esimprj_Pb Valukaruselli.ssm
Creation date:	-
Project status:	
Project number:	
Project version:	
Tekijät:	fimatr
Project managers:	
Inspectors:	
Vaarallinen kohta/kone:	Puristuminen, kuumat pinnat
Dokumentaatio:	
Dokumentti:	
Ohjelmiston versio:	2.0.6 build 1
Standardin versio:	ISO 13849-1:2015, ISO 13849-2:2012
Tarkistussumma:	287c2a54d3a7f0b8fb8a3e5b94b0fc20
Asetukset:	<input checked="" type="checkbox"/> Käytä DC:n väliarvoja PFHD:n laskentaan (tarkempi). <input type="checkbox"/> MTTFD capping for category 4 lower from 2500 to 100 years.
Tila:	vihreä
Huomautus:	Tähän projektiin (tai siihen kuuluihin peruselementteihin) ei ole merkitty yhtään varoitusta.

Tulostusasetukset

- ☒ Show Safety functions ☒ also show Subsystems
☒ also show Blocks ☒ also show Elements

Tähän kuuluvat turvatoiminnot

SF Nimi: Hätäseis

Vaadittu: PLr d Saavutettu: PL e PFHD [1/h]: 3,3E-8 Tila: vihreä

Tähän kuuluvat alajärjestelmät

SB Nimi: Turvarele K100		
Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 3E-8	Luokka (Cat.): 4
MTTFD [v]: ei asiaankuuluva	DCavg [%]: ei asiaankuuluva	CCF-pisteet: ei asiaankuuluva
SB Nimi: Hätäseispainike HS1		
Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 9,1E-10	Luokka (Cat.): 4
MTTFD [v]: 2500 (Korkea)	DCavg [%]: 99 (Korkea)	CCF-pisteet: 65 (täytetty)

Tähän kuuluvat kanavat / lohkot / Elementit

CH Nimi: Kanava 1 (MTTFD [v]: 3906250)

BL Nimi: Kosketin 1

MTTFD [v]: 3906250 (Korkea) DC [%]: ei asiaankuuluva

EL Nimi: E-Stop mushroom head XB4B + ZB4B

SISTEMA - Ohjelmistotyökalu konesovellusten turvallisuuden eheyden



Projektin nimi: Pb Valukaruselli

Tiedoston päiväys: 29.03.2018 11:32:57 Raportin päiväys: 29.3.2018 Tarkistussumma: 287c2a54d3a7f0b8fb8a3e5b94b0fc20

PR Projektin nimi: Pb Valukaruselli

MTTFD [v]: 3906250 (Korkea) DC [%]: ei asiaankuuluva			
CH	Nimi: Kanava 2 (MTTFD [v]: 3906250)		
BL	Nimi: Kosketin 2		
MTTFD [v]: 3906250 (Korkea) DC [%]: ei asiaankuuluva			
EL	Nimi: E-Stop mushroom head XB4B + ZB4B		
MTTFD [v]: 3906250 (Korkea) DC [%]: ei asiaankuuluva			
SB	Nimi: Hätäseispainike HS2		
Resulting PL: e		PFHD [1/h]: 9,1E-10	Luokka (Cat.): 4
MTTFD [v]: 2500 (Korkea)		DCavg [%]: 99 (Korkea)	CCF-pisteet: 65 (täytetty)
Tähän kuuluvat kanavat / lohkot / Elementit			
CH	Nimi: Kanava 1 (MTTFD [v]: 3906250)		
BL	Nimi: Kosketin 1		
MTTFD [v]: 3906250 (Korkea) DC [%]: ei asiaankuuluva			
EL	Nimi: E-Stop mushroom head XB4B + ZB4B		
MTTFD [v]: 3906250 (Korkea) DC [%]: ei asiaankuuluva			
CH	Nimi: Kanava 2 (MTTFD [v]: 3906250)		
BL	Nimi: Kosketin 2		
MTTFD [v]: 3906250 (Korkea) DC [%]: ei asiaankuuluva			
EL	Nimi: E-Stop mushroom head XB4B + ZB4B		
MTTFD [v]: 3906250 (Korkea) DC [%]: ei asiaankuuluva			
SB	Nimi: Apurele K100.1		
Resulting PL: e		PFHD [1/h]: 1,1E-9	Luokka (Cat.): 4
MTTFD [v]: ei asiaankuuluva		DCavg [%]: ei asiaankuuluva	CCF-pisteet: ei asiaankuuluva
SF	Nimi: Ovirajat		
Vaadittu: PLr d		Saavutettu: PL e	PFHD [1/h]: 3,3E-8
Tila: vihreä			
Tähän kuuluvat alajärjestelmät			
SB	Nimi: Turvarele K101		
Resulting PL: e		PFHD [1/h]: 3E-8	Luokka (Cat.): 4
MTTFD [v]: ei asiaankuuluva		DCavg [%]: ei asiaankuuluva	CCF-pisteet: ei asiaankuuluva
SB	Nimi: Ovirajat S20		
Resulting PL: e		PFHD [1/h]: 9,1E-10	Luokka (Cat.): 4
MTTFD [v]: 2500 (Korkea)		DCavg [%]: 99 (Korkea)	CCF-pisteet: 65 (täytetty)
Tähän kuuluvat kanavat / lohkot / Elementit			
CH	Nimi: Kanava 1 (MTTFD [v]: 136986,3)		
BL	Nimi: Kosketin 1		
MTTFD [v]: 136986,3 (Korkea) DC [%]: 99 (Korkea)			
EL	Nimi: Safety Guard Switch XCSA, XCSB, XCSC, XCSMP, XCSPA, XCSTA		
MTTFD [v]: 136986,3 (Korkea) DC [%]: 99 (Korkea)			

SISTEMA - Ohjelmistotyökalu konesovellusten turvallisuuden eheyden



Projektin nimi: Pb Valukaruselli

Tiedoston päiväys: 29.03.2018 11:32:57 Raportin päiväys: 29.3.2018 Tarkistussumma: 287c2a54d3a7f0b8fb8a3e5b94b0fc20

PR Projektin nimi: Pb Valukaruselli

CH Nimi: Kanava 2 (MTTFD [v]: 136986,3)

BL Nimi: Kosketin 2

MTTFD [v]: 136986,3 (Korkea) DC [%]: 99 (Korkea)

EL Nimi: Safety Guard Switch XCSA, XCSB, XCSC, XCSMP, XCSPA, XCSTA

MTTFD [v]: 136986,3 (Korkea) DC [%]: 99 (Korkea)

SB Nimi: Ovirajat S21

Resulting PL: e

PFHD [1/h]: 9,1E-10

Luokka (Cat.): 4

MTTFD [v]: 2500 (Korkea)

DCavg [%]: 99 (Korkea)

CCF-pisteet: 65 (täytetty)

Tähän kuuluvat kanavat / lohkot / Elementit

CH Nimi: Kanava 1 (MTTFD [v]: 136986,3)

BL Nimi: Kosketin 1

MTTFD [v]: 136986,3 (Korkea) DC [%]: 99 (Korkea)

EL Nimi: Safety Guard Switch XCSA, XCSB, XCSC, XCSMP, XCSPA, XCSTA

MTTFD [v]: 136986,3 (Korkea) DC [%]: 99 (Korkea)

CH Nimi: Kanava 2 (MTTFD [v]: 136986,3)

BL Nimi: Kosketin 2

MTTFD [v]: 136986,3 (Korkea) DC [%]: 99 (Korkea)

EL Nimi: Safety Guard Switch XCSA, XCSB, XCSC, XCSMP, XCSPA, XCSTA

MTTFD [v]: 136986,3 (Korkea) DC [%]: 99 (Korkea)

SB Nimi: Apurele K101.1

Resulting PL: e

PFHD [1/h]: 1,1E-9

Luokka (Cat.): 4

MTTFD [v]: ei asiaankuuluva

DCavg [%]: ei asiaankuuluva

CCF-pisteet: ei asiaankuuluva

SF Nimi: Valoverho 1

Vaadittu: PLr d

Saavutettu: PL e

PFHD [1/h]: 3,5E-8

Tila: vihreä

Tähän kuuluvat alajärjestelmät

SB Nimi: Turvarele K102

Resulting PL: e

PFHD [1/h]: 3E-8

Luokka (Cat.): 4

MTTFD [v]: ei asiaankuuluva

DCavg [%]: ei asiaankuuluva

CCF-pisteet: ei asiaankuuluva

SB Nimi: Valoverho 1 lähetin-vastaanotin

Resulting PL: e

PFHD [1/h]: 3,7E-9

Luokka (Cat.): 4

MTTFD [v]: ei asiaankuuluva

DCavg [%]: ei asiaankuuluva

CCF-pisteet: ei asiaankuuluva

SB Nimi: Apurele K102.1

Resulting PL: e

PFHD [1/h]: 1,1E-9

Luokka (Cat.): 4

MTTFD [v]: ei asiaankuuluva

DCavg [%]: ei asiaankuuluva

CCF-pisteet: ei asiaankuuluva

SF Nimi: Valoverho 2

Vaadittu: PLr d

Saavutettu: PL e

PFHD [1/h]: 3,5E-8

Tila: vihreä

Tähän kuuluvat alajärjestelmät

SB Nimi: Turvarele K103

SISTEMA - Ohjelmistotyökalu konesovellusten turvallisuuden eheyden



Projektin nimi: Pb Valukaruselli

Tiedoston päiväys: 29.03.2018 11:32:57 Raportin päiväys: 29.3.2018 Tarkistussumma: 287c2a54d3a7f0b8fb8a3e5b94b0fc20

PR Projektin nimi: Pb Valukaruselli

	Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 3E-8	Luokka (Cat.): 4
	MTTFD [v]: ei asiaankuuluva	DCavg [%]: ei asiaankuuluva	CCF-pisteet: ei asiaankuuluva
SB	Nimi: Valoverho 2 lähetin-vastaanotin		
	Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 3,7E-9	Luokka (Cat.): 4
	MTTFD [v]: ei asiaankuuluva	DCavg [%]: ei asiaankuuluva	CCF-pisteet: ei asiaankuuluva
SB	Nimi: Apurele K103.1		
	Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 1,1E-9	Luokka (Cat.): 4
	MTTFD [v]: ei asiaankuuluva	DCavg [%]: ei asiaankuuluva	CCF-pisteet: ei asiaankuuluva
SF	Nimi: Nollanopeus		
	Vaadittu: PLr d	Saavutettu: PL e	PFHD [1/h]: 2,6E-8
	Tila: vihreä		
	Tähän kuuluvat alajärjestelmät		
SB	Nimi: Nollanopeus valvontarele K104		
	Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 2,5E-8	Luokka (Cat.): 3
	MTTFD [v]: 100 (Korkea)	DCavg [%]: 99 (Korkea)	CCF-pisteet: 65 (täytetty)
SB	Nimi: K104.1		
	Resulting PL: e	PFHD [1/h]: 1,1E-9	Luokka (Cat.): 4
	MTTFD [v]: ei asiaankuuluva	DCavg [%]: ei asiaankuuluva	CCF-pisteet: ei asiaankuuluva

SISTEMA - Ohjelmistotyökalu konesovellusten turvallisuuden eheyden arviointiin



Projektin nimi: Pb Valukaruselli

Tiedoston päiväys: 29.03.2018 11:32:57 Raportin päiväys: 29.3.2018 Tarkistussumma: 287c2a54d3a7f0b8fb8a3e5b94b0fc20

VASTUUVAPAAUSLAUSEKE

Ohjelmiston tuotannossa on huolehdittu, että se on tehty nykytekniikan tason mukaisesti. Ohjelmisto on tarkoitettu käyttöön otettavaksi korvauksetta. Ohjelmiston käyttö tapahtuu käyttäjän omalla riskillä. Lainsäädännön antamissa rajoissa ei hyväksytä mitään lakiin perustuva vastuuta ohjelmistosta.

Die Software wurde gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik sorgfältig erstellt. Sie wird dem Nutzer unentgeltlich zur Verfügung gestellt.

Die Haftung des IFAs/ DGUV ist damit auf Vorsatz und grobe Fahrlässigkeit (§ 521 BGB) bzw. bei Sach- und Rechtsmängel auf arglistig verschwiegene Fehler beschränkt (523, 524 BGB).

IFA sitoutuu pitämään verkkosivut vapaina viruksista, mutta kuitenkin ei voida varmistaa, että ohjelmisto ja sen mukana toimitettavat tiedot olisivat viruksista vapaita. Tämän vuoksi käyttäjää suositellaan ryhtymään sopiviin tietoturvan toimenpiteisiin ja käyttämään virustutkaa ennen ohjelmiston, dokumentaation ja muiden tietojen lataamista.

YHTEYS

Saksan sosiaalisen tapaturmavakuutuksen työterveyden ja työturvallisuuden laitos (IFA)
(Institute for Occupational Health and Safety of German Social Accident Insurance (IFA))
Osasto 5 (Tapaturmien ehkäisy/ tuoteturvallisuus)
Osoite: Alte Heerstr. 111, 53754 Sankt Augustin
Sähköposti: sistema@dguv.de
Verkkosivu: www.dguv.de/ifa (Webcode e561582)

Tekijän päivämäärä, allekirjoitus

Tarkastajan päivämäärä, allekirjoitus